# 我国淡水环境微塑料污染与流域管控策略

吴辰熙[1*] 潘响亮[2] 施华宏[3] 彭进平[4]

1 中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术国家重点实验室 武汉 430072
2 浙江工业大学 环境学院 杭州 310014
3 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室 上海 200062
4 广东工业大学 轻工化工学院 广州 510006



**摘要** 微塑料的淡水环境污染问题日益受到了国内外学者的关注。文章综述了我国淡水环境中微塑料的研究进展，分析了淡水环境中微塑料的污染来源、环境行为和归趋，探讨了微塑料污染的生态环境效应。研究表明，微塑料污染在我国河流、湖泊等淡水水体中普遍存在。淡水水体中检测到的微塑料丰度可达$10^7$个/$km^2$量级，比海洋环境中检测到的微塑料丰度更高。淡水环境中检出的微塑料呈现出不同的形状、大小、颜色特征，同时具有多样的化学组成并可能携带其他污染物。这些特征一定程度上反映了微塑料的来源和经历，同时也影响其环境行为和生态环境效应。研究还发现，微塑料在淡水水体采集到的鱼类、贝类等生物体内也普遍存在。微塑料暴露可对生物体的健康乃至生态系统的结构和功能造成影响。因此，微塑料被认为是一类新兴污染物。文章针对淡水环境中微塑料污染现状及问题，基于流域治理的思路，提出了微塑料污染管控策略；建议我国进一步完善相关政策法规，加大政策法规执行力度，从而保障淡水生态系统的健康和淡水资源的可持续利用。

**关键词** 微塑料污染，淡水水体，迁移转化，生态环境效应，管控策略

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.10.002

古往今来，人类选择逐水而迁、傍水而居，城镇的形成和发展难以摆脱对淡水资源的依赖。过去的几十年中，在我国经济社会高速发展的同时，也带来了严重的水环境污染问题，给经济社会的可持续发展造成了不可忽视的影响[1]。尽管各级政府在水污染防治工作中投入了大量精力，我国主要流域水污染得到了一定程度的控制，但水污染整体形势依然严峻，富营养化问题未得到根本性解决，持久性毒害污染物的复合影响日益凸显[2]。

*通讯作者
资助项目：国家自然科学基金项目（41501536），水体污染控制与治理科技重大专项（2012ZX07104-002）
修改稿收到日期：2018年9月28日

近年来，微塑料的环境污染问题发展成为人们关注的新热点之一。微塑料通常是指尺寸小于5 mm的塑料制品或塑料碎屑[3]。大量研究表明，微塑料在海洋及内陆环境中普遍存在[4]。相比大塑料，微塑料在环境中的残留浓度更高且更容易被生物摄入，并对生物体的健康构成潜在威胁[5]。目前，我国微塑料研究才刚起步，许多科学和管理问题亟待回答。本文分析总结了我国淡水环境中微塑料污染的研究进展，针对微塑料污染的特点，提出流域污染防控措施，以期为我国淡水环境中微塑料污染防治提供参考。

## 1 我国淡水环境中的微塑料污染

### 1.1 我国淡水环境中的微塑料污染现状

2015年，张凯等[6]发表的关于三峡水库微塑料污染的研究论文是我国第一篇淡水环境微塑料污染报道。随后，我国淡水水体中微塑料污染调查研究工作陆续展开。在太湖[7]、武汉城市水体[8]、珠江支流[9]、上海城市河道[10]、洞庭湖和洪湖[11]等淡水环境中，均检测到微塑料的存在，说明了我国淡水环境中微塑料污染现象的普遍性。其中，水体中，以在三峡水库和太湖表层水中检测到的微塑料丰度最高，分别达$1.36\times10^7$个/km$^2$和$6.8\times10^6$个/km$^2$ [6,7]；沉积物中，以上海城市河道沉积物中检测到的微塑料丰度最高，达到1 600±191个/kg [10]。可见，位于经济发达地区淡水环境中的微塑料污染程度较高。我国淡水环境中检测到的微塑料最高丰度比国外相关报道要高出2—3个数量级[12]，反映了我国淡水水体中微塑料污染问题的严重性。

### 1.2 淡水环境中的微塑料污染特征

有别于传统化学污染物，微塑料不溶于水，而是以颗粒物的形式漂浮、悬浮在水中，或是沉降到沉积物中。微塑料污染研究往往会对微塑料的粒径大小、形状、颜色等信息进行记录，并需要对微塑料的聚合物类型进行鉴定。这些形貌、组成特征直接关系到微塑料的环境行为和效应[13]。目前，由于采样及分析鉴定方法的限制，绝大多数野外研究关注的是粒径100 μm以上的微塑料[4]。图1展示了淡水水体中典型微塑料样品的形貌特征。不同淡水水体中采集到的微塑料样品的特征既有相似之处，又存在一定的差异。例如，太湖和武汉城市水体中粒径较小的微塑料相对丰度更高[7,8]，而香溪河库湾则是粒径较大的微塑料更多[14]。三峡水库和香溪河库湾微塑料主要以薄片状和碎块状为主[6,14]，而纤维状的微塑料在太湖、武汉城市水体、洞庭湖和洪湖等淡水水体中丰度更高[7,8,11]。同时，淡水水生生物体内也是纤维状的微塑料更为丰富[7,14,15]。不同淡水水体中检测到的微塑料类型均以聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）和聚苯乙烯泡沫（EPS）为主，这与该类型的塑料用量较大有关。微塑料的形貌及化学组成特征能够在一定程度上反映微塑料的来源及经历。

### 1.3 淡水环境中的微塑料来源

淡水环境中微塑料主要来源于淡水水体流域范围内塑料产品的使用和不当处置（图2）。根据产生途径的不同，可将微塑料分为初级微塑料和次级微塑料。初级微塑料是指那些生产出来粒径就处于微米级别的塑料产品，例如用于个人护理用品中的塑料微珠、用于喷砂过程中的塑料微粒以及一些塑料原材料等；次级微塑料

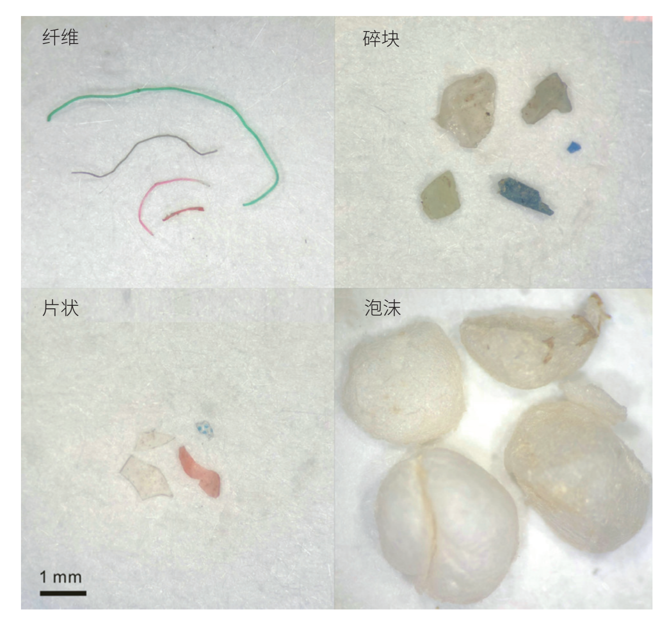



图1　三峡水库典型微塑料样品形貌特征

则是环境中大塑料分解和破碎所产生的[16]。个人护理用品中添加的微塑料会在使用之后进入到生活污水，并随着生活污水排放而进入环境。据研究，在中国销售的磨砂洗面奶中微塑料含量约为 5 219—50 391 个/g，每年约有 200 万亿个塑料微珠因磨砂洗面奶的使用而被释放到环境中[17]。但根据已有的野外调查结果，类似用于化妆品中的塑料微珠在我国淡水环境微塑料样品中所占比例并不高。而喷砂过程中使用的塑料微粒及塑料原材料也会在使用过程中流落到环境中。我国塑料产业发达，塑料加工尤其是废旧塑料回收加工过程中造成的微塑料污染问题，应该引起高度重视。

淡水环境中次级微塑料的来源则更为广泛。据统计，我国废弃塑料的回收利用率约为 25%，焚烧处理率约为 30%，剩余部分则主要通过填埋处理，而未得到合理处置的塑料垃圾则流落到环境中[18]。生产生活中常用的塑料薄膜、泡沫塑料、长丝和机织塑料、塑料容器以及日用塑料制品等是我国废弃塑料的主要来源，这些塑料产品使用后具有极高的废弃率并且容易被随意丢弃而进入到环境中[19]。近年来，我国互联网经济的快速发展，快递、外卖等行业中一次性塑料制品用量大增，导致了严重的环境污染问题。这些塑料垃圾进入环境后，




图 2　环境中微塑料来源与迁移途径示意图

为微塑料的产生提供了原料。

### 1.4　淡水环境中微塑料的行为和归趋

*密度小于水的微塑料进入到水体后很容易随着水流而发生迁移。*河流输入被认为是海洋环境中微塑料的主要来源[20]。密度大于水的微塑料在水体中的迁移距离相对较短，并在迁移过程中逐渐沉降到沉积物中。塑料的密度、粒径大小、形状以及水体的水动力条件等是影响微塑料迁移的重要因素[21]。例如，三峡水库微塑料的富集主要与库区水体流速变缓有关[14]。在微塑料产生的总量中，被输入到海洋中的部分占比不到 5%，还有一部分被分解，而绝大部分则停留在陆地或内陆水体中[22]。然而，目前人们尚无法对淡水环境中的微塑料总量进行准确估算。根据已有调查结果判断，沉积物可能是淡水环境中微塑料赋存的主要场所。

*进入到水体中的塑料会在物理、化学以及生物过程的作用下缓慢分解。*紫外光照射下，光氧化引起的碳链断裂是导致塑料降解的关键步骤，光氧化降解过程中形成的分子量较小的聚合物更容易被微生物利用[23]。微生物降解塑料主要是通过酶的作用，微生物首先附着到塑料的表面，然后通过胞外酶的分泌将大分子聚合物分解为小分子有机物。当降解产物分子量足够小时，就能够进入到微生物体内并被矿化利用[24]。动荡水环境中的机械磨蚀作用也可以加速微塑料的产生和分解[25]。大塑料分解形成微塑料过程既可以发生在陆地，也可以是在进入到水体以后。不同环境中微塑料究竟如何产生及其在环境中的持久性如何还有待进一步研究。

*微塑料还是环境中污染物的重要载体。*微塑料对多环芳烃（PAHs）、多氯联苯（PCBs）、有机氯农药（OCPs）等持久性有机污染物表现出较强的吸附能力，这与塑料的疏水性有关[26]。重金属也能吸附到微塑料表面，而且风化导致的微塑料表面变化有利于重金属的吸附[9]。此外，塑料本身也可能含有聚合物单体、塑化剂、阻燃剂、抗氧化剂等有毒化学物质，并会在进入水体后将这些污染物逐渐释放出来[27]。微塑料表面还可供水体

中微生物附着生长，野外采集的微塑料样品表面鉴定出丰富的微生物群落[28]。微生物的附着生长能够促进微塑料的微生物降解，并且能够引起微塑料密度和沉降性质的变化[29]。微生物附着生长是导致密度小于水的微塑料沉入沉积物中的重要原因。

## 2 微塑料污染的生态环境效应

大量野外及室内研究证据表明，淡水环境中的微塑料能被水生生物摄入，例如因被误食而进入水生生物体内[30]。研究证实，微塑料能通过食物链从低营养级向高营养级水生生物传递[31]。在我国淡水水体中，采自太湖和香溪河库湾的鱼类样品，以及采自长江中下游流域的河蚬样品中均检测到微塑料的残留[7,14,15]。其中，微塑料在鱼类消化道内的残留浓度可达 7.2 个/条，而河蚬体内微塑料残留浓度可达 5 个/只。相比同一采样点采集到的沉积物样品，河蚬体内微塑料存在富集现象，被认为可以用来指示淡水水体中微塑料的污染状况[15]。水生生物样品中检出微塑料，反映了野外环境中生物体微塑料暴露是真实存在的。然而，被摄入的微塑料会在较短时间内随粪便一起排出生物体[32]。因此，微塑料是否存在生物富集还存在争议。还有研究认为，水生生物的摄食和排泄是导致水体中漂浮微塑料沉降的一个重要机制[33]。此外，研究者大多关注的是生物体消化道内微塑料的摄食和排泄，而对微塑料是否会进入到生物体其他器官尚不清楚。

目前，研究最多的是微塑料对海洋生物的影响。微塑料暴露所导致的海洋生物效应主要包括消化道阻塞、死亡率上升、生殖力下降、炎症反应、代谢改变、摄食改变、生殖中断、行为改变和能量储备减少等[34]。尽管微塑料对淡水水生生物影响的研究较少，但微塑料暴露可能造成的影响应与其对海洋生物的影响类似。微塑料的毒性与其形状、大小、类型、浓度及所携带的污染物有关。然而，目前的研究往往忽视了微塑料自身性质在其毒性效应中起到的作用[13]。同时，毒性实验所用到的微塑料浓度远高于环境中检测到的微塑料浓度，从而阻碍了人们对微塑料风险的合理评估[35]。

除对生物个体的影响之外，微塑料还会对淡水生态系统的结构和功能造成影响。例如，随意丢弃的塑料袋会造成沉积物厌氧，减小初级生产力，并降低底栖无脊椎动物的丰度[36]。微塑料的存在被证明会改变水体中细菌的群落结构组成[37]。微塑料暴露还造成牡蛎产卵量及活性精子的下降，并导致其幼体产量的减少[38]。目前，人们对微塑料生态效应的了解还十分有限。相比对个体的生物效应，生态效应更能够反映真实环境中微塑料污染造成的影响，并为相关政策的制定提供参考[39]。

## 3 微塑料污染流域管控策略

### 3.1 塑料污染的源头控制

*与其他污染物控制一样，控源是最直接且最为行之有效的微塑料污染控制方法。*针对初级微塑料，美国、加拿大、荷兰、新西兰等西方发达国家已相继出台了相关法规，禁止塑料微粒在个人护理用品中的使用。然而，我国目前尚未对个人护理用品中塑料微粒的使用采取任何措施。尽管从目前我国微塑料研究的数据来看，个人护理用品使用带来的微塑料贡献所占到的比例不高，但对个人护理用品中塑料微粒使用的管控相对容易，且几乎不会给人们的生活带来影响。塑料微粒完全可以用氧化铝、矽石等天然矿物颗粒或是核桃壳、杏核等植物性颗粒代替。微米级别的塑料粒子还被广泛用作喷砂磨料，且喷砂过程中的机械磨蚀作用会导致更多微塑料的形成；然而，目前人们对该过程中微塑料输入的认识尚不清楚，对其进行管控尚无依据，但同样建议尽量使用其他性质类似的环保材料替代喷砂磨料。而对于微米级别的塑料原料，其进入环境的主要途径是生产、加工、使用和运输过程中的泄漏，必须加强对这些过程的监管，从而有效减少泄漏事件的发生。

*次生微塑料的控制主要需要减少废弃塑料进入到环境的总量。*废弃塑料的回收利用能够有效防止塑料进

入环境。回收利用是对塑料垃圾的减量化、资源化和无害化处理，提高废弃塑料的回收利用率既对环境保护有益，又是可持续发展的要求。近年来，我国在塑料回收利用方面已取得了长足的进步，但相比欧盟、美国、日本等发达国家和地区还存在一定的差距。目前，我国废弃塑料回收利用过程中存在回收政策不健全、管理归属不明确、回收技术和管理落后等问题。垃圾分类在我国迟迟难以推广，给塑料垃圾的回收利用造成了极大的不便。一次性塑料产品获取容易，价格低廉，使其极易被随意丢弃而进入环境。此外，我国应加快可降解塑料及塑料替代产品的开发和推广。在不影响人们生活便利性的前提下，减少难降解塑料的使用。因此，我国应该从政策、法规、经济、技术等多个层面，提高废弃塑料的回收利用率，增加一次性塑料的使用成本，明确管理部门，提高塑料回收的经济效益。

### 3.2 塑料污染迁移过程阻断

废弃塑料主要在陆地上产生，其主要通过降雨后形成的地表径流迁移到汇水流域内的河流、湖泊等水体中。面源污染输入是导致水体中微塑料污染的重要原因，因此可借鉴面源污染防控领域已取得的经验和成果治理微塑料污染。从形式上看，塑料及微塑料污染与悬浮颗粒物相似。人工湿地、滞留塘、生态缓冲带等是对悬浮颗粒物有较好拦截作用的面源污染治理技术，可能同样适用于塑料及微塑料污染的拦截。然而，由于密度较小，基于自然沉淀的处理方法可能对塑料及微塑料污染拦截作用有限。另外，可在一些汇水区的径流出口设置拦截装置，对流域内产生的塑料及微塑料污染物进行拦截。通过这些措施拦截的废弃塑料及其他垃圾还需定时清理，以防其再次迁移及对陆地的污染。

此外，塑料袋、泡沫、纤维等轻质的塑料产品还会在风力的作用下发生迁移。尤其是在大风天气，塑料被风刮起四处飘扬的情景并不少见。因此，在尽量避免垃圾随意丢弃行为发生的同时，还应加强对垃圾堆放场所及设施的完善和管理，如对垃圾堆放场所及设施进行加盖处理。同时，加强对垃圾清运及处理过程的监管，减少清运及处理过程中垃圾的泄漏抛撒。

### 3.3 淡水环境塑料污染末端处置

进入到淡水环境以后，塑料污染的处理难度将大大增加。对于大塑料，通过清漂措施还能够将其从水体中清除，但需要投入大量的人力和物力。然而，水体中微塑料的清除则更为困难。由于微塑料粒径较小，传统的漂浮物打捞方式已不再适用。目前，尚无针对淡水环境中微塑料清除的专门技术，但可借鉴藻类水华治理的一些措施。例如，通过船只进行机械打捞并通过膜收集过滤后再进行处置。同样，该方法目前仍存在成本较高的问题。因此，需对淡水环境中微塑料行为开展进一步研究，并开发有针对性的高效末端处置方法。

### 3.4 完善废弃塑料相关政策法规，加大执行力度

尽管我国目前尚未形成直接针对微塑料污染控制的政策法规，但与废弃塑料相关的法律法规已有多个。废弃塑料属于固体废弃物，其总体属于《环境保护法》管理的范畴。1995 年我国还专门颁布了针对固体废弃物污染的《固体废物污染环境防治法》。《海洋环境保护法》《清洁生产促进法》《循环经济促进法》等法律也都有涉及固体废弃物的减排和回收利用的相关规定。除此之外，我国还专门针对废弃塑料的管控出台了一系列行政法规及部门规章。例如：2001 年，国家经贸委发布了《关于立即停止生产一次性发泡塑料餐具的紧急通知》；2007 年，国务院办公厅发布了《关于限制生产销售使用塑料购物袋的通知》；2012 年，商务部发布了《废塑料加工利用污染防治管理规定》；2017 年，国务院办公厅颁布了《禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案》。这些法律和法规的存在为废弃塑料的管理、回收利用和处置提供了保障。然而，目前这些法律和法规仍然存在管理上的漏洞，执行力度还有待进一步加强。例如，《关于限制生产销售使用塑料购物袋的通知》中明确规定禁止生产、销售和使用厚度小于 0.025 mm 的塑料购物袋，所有商品零售场所不得免费

提供塑料购物袋。目前，在大的商场和超市“限塑令”能较好地执行，但在一些农贸市场、个体商户之间，“限塑令”则形同虚设。因此，尽快完善废弃塑料相关政策法规，加大相关政策法规的执行力度才能从根本上减少进入到环境中的废弃塑料，从而切断微塑料污染的源头。

## 4 结语

近年来，微塑料污染问题已经发展成为环境领域的研究热点。随着我国经济社会持续发展和人民生活水平的不断提高，可以预见，我国塑料的用量在相当长一段时间内还会持续高速增长。现有的研究结果充分说明了微塑料污染在我国淡水环境中的普遍性和严重性，如不及时加以重视和管控，极可能对淡水生态系统的健康及其服务功能带来大范围的不利影响。然而，目前微塑料污染研究仍处于起步阶段，对其环境行为、效应和风险等问题的研究还有待进一步深入。出于对淡水环境的保护，我国应该进一步加强对废弃塑料的管控，完善相关政策法规，加大相关政策法规执行力度。基于源头控制、过程阻断及末端治理的思路，在进一步深化研究的基础之上，开展相关防控工作，以缓解我国淡水环境微塑料污染，保障淡水生态系统的健康和淡水资源的可持续利用。

## 参考文献

1 夏军, 翟金良, 占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考. 地球科学进展, 2011, 26(9): 905-915.
2 孟伟, 范俊韬, 张远. 流域水生态系统健康与生态文明建设. 环境科学研究, 2015, 28(10): 1495-1500.
3 周倩, 章海波, 李远, 等. 海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展. 科学通报, 2015, 60(33): 3210-3220.
4 Eerkes M D, Thompson R C, Aldridge D C. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. Water Research, 2015, 75: 63-82.
5 Rochman C M. Microplastics research-from sink to source. Science, 2018, 360(6384): 28-29.
6 Zhang K, Gong W, Lv J Z, et al. Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam. Environmental Pollution, 2015, 204: 117-123.
7 Su L, Xue Y, Li L, et al. Microplastics in Taihu Lake, China. Environmental Pollution, 2016, 216: 711-719.
8 Wang W F, Ndungu A W, Li Z, et al. Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. Science of the Total Environment, 2017, 575: 1369-1374.
9 Wang J D, Peng J P, Tan Z, et al. Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. Chemosphere, 2017, 171: 248-258.
10 Peng G Y, Xu P, Zhu B S, et al. Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: A case study of risk assessment in mega-cities. Environmental Pollution, 2018, 234: 448-456.
11 Wang W F, Yuan W K, Chen Y L, et al. Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. Science of the Total Environment, 2018, 633: 539-545
12 Zhang K, Shi H H, Peng J P, et al. Microplastic pollution in China’s inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management. Science of the Total Environment, 2018, 630: 1641-1653.
13 Lambert S, Scherer C, Wagner M. Ecotoxicity testing of microplastics: Considering the heterogeneity of physicochemical properties. Integrated Environmental Assessment and Management, 2017, 13: 470-475.
14 Zhang K, Xiong X, Hu H J, et al. Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China. Environmental Science & Technology, 2017, 51: 3794-3801.

15 Su L, Cai H W, Kolandhasamy P, et al. Using the Asian clam as an indicator of microplastic pollution in freshwater ecosystems. Environmental Pollution, 2018, 234: 347-355.

16 Cole M, Lindeque P, Halsband C, et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(12): 2588-2597.

17 Cheung P K, Fok L. Characterization of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. Water Research, 2017, 122: 53-61.

18 Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advance, 2017, 3: e1700782.

19 Liao Z P. China Plastics Industry (2010). China Plastics, 2011, 25(5): 1-8.

20 Lebreton L C M, van der Zwet J, Damsteeg J W, et al. River plastic emissions to the world's oceans. Nature Communications, 2017, 8: 15611.

21 Nizzetto L, Bussi G, Futter M N, et al. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. Environmental Science: Processes & Impacts, 2016, 18 (8): 1050-1059.

22 Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 2015, 347(6223): 768-771.

23 Gewert B, Plassmann M M, MacLeod M, et al. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. Environment Sci-Process Impacts, 2015, 17(9): 1513-1521.

24 Eubeler J P, Bernhard M, Knepper T P. Environmental biodegradation of synthetic polymers II. Biodegradation of different polymer groups. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2010, 29(1): 84-100.

25 Song Y K, Hong S H, Jang M, et al. Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type. Environmental Science & Technology, 2017, 51(8): 4368-4376.

26 Rochman C M, Hoh E, Hentschel B T, et al. Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris. Environmental Science & Technology, 2012, 47(3): 1646-1654.

27 Hermabessiere L, Dehaut A, Paul-Pont I, et al. Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: A review. Chemosphere, 2017, 182: 781-793.

28 McCormick A, Hoellein T J, Mason S A, et al. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. Environmental Science & Technology, 2014, 48(20): 11863-11871.

29 Rummel C D, Jahnke A, Gorokhova E, et al. Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment. Environmental Science & Technology Letter, 2017, 4(7): 258-267.

30 Wright S L, Thompson R C, Galloway T S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution, 2013, 178: 483-492.

31 Nelms S E, Galloway T S, Godley B J, et al. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. Environmental Pollution, 2018, 238: 999-1007.

32 Grigorakis S, Mason S A, Drouillard K G. Determination of the gut retention of plastic microbeads and microfibers in goldfish (*Carassius auratus*). Chemosphere, 2017, 169: 213-238.

33 Cole M, Lindeque P K, Fileman E, et al. Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. Environmental Science & Technology, 2016, 50 (6): 3239-3246.

34 Auta H S, Emenike C U, Fauziah S H. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Environment International, 2017, 102: 165-176.

35 Lenz R, Enders K, Nielsen T G. Microplastic exposure studies should be environmentally realistic. PNAS, 2016, 113: e4121-e4122.

36 Green D S, Boots B, Blockley D J, et al. Impacts of discarded plastic bags on marine assemblages and ecosystem functioning.

Environmental Science & Technology, 2015, 49: 5380-5389.

37 Kesy K, Oberbeckmann S, Müller F, et al. Polystyrene influences bacterial assemblages in Arenicola marina-populated aquatic environments *in vitro*. Environmental Pollution, 2016, 219: 219-227.

38 Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, et al. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. PNAS, 2016, 113(9): 2430-2435.

39 Rochman C M. Ecologically relevant data are policy-relevant data. Science, 2016, 352: 1172.

# Microplastic Pollution in Freshwater Environment in China and Watershed Management Strategy

WU Chenxi[1*] PAN Xiangliang[2] SHI Huahong[3] PENG Jinping[4]

(1 State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

2 College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

3 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

4 Faculty of Chemical Engineering and Light Industry, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)



**Abstract** Microplastic pollution problems in freshwater environment have attracted growing attention from scholars at home and abroad. This work reviewed the research progress on microplastics in freshwater environment in China, analyzed the sources, environmental behavior and fate of microplastics in freshwater environment, and discussed the ecological environment effect of microplastic pollution. Studies showed that microplastic pollution is ubiquitously presented in rivers and lake in China. Microplastics have been detected with abundances up to $10^7$ items/km$^2$ in freshwater, which is higher than those reported from marine environment. Microplastics detected in the freshwater environment showed different shape, size, and color features, are made from different polymer types, and are able to carry other contaminants. These features partly reflect the source and experience of microplastics, and are related to their environmental behavior and ecological environment effect. Research has also demonstrated that microplastics are commonly presented in fishes and mollusks collected from freshwater environment, microplastic exposure is able to affect the health of individual organisms as well as alter the structure and function of ecosystem. Therefore, microplastics are considered as emerging contaminants. In view of the microplastic pollution status and problem in freshwater environment, microplastic pollution control strategies were proposed based on watershed management thought. It is suggested that China should further improve the relevant policies and regulations, strengthen the implementation of policies and regulations, so as to ensure the health of freshwater ecosystem and the sustainable use of freshwater resources.

**Keywords** microplastic pollution, freshwater, transport and transformation, ecological environment effect, management strategy

*Corresponding author





**吴辰熙**　中国科学院水生生物研究所副研究员，博士，硕士生导师。中国科学院青年创新促进会会员，湖北省海洋湖沼学会理事。主要从事新兴污染物环境行为与生态效应研究。主持和参加了国家自然科学基金、“973”青年科学家项目、国家水体污染控制与治理科技重大专项、科技基础性工作专项、中国科学院重点部署项目等课题10余项。在包括*Environmental Science & Technology*、*Water Research*、*Environmental Pollution*、*Science of the Total Environment*等环境领域知名期刊上发表SCI收录论文60余篇，论文总被引1 000余次。E-mail: chenxi.wu@ihb.ac.cn

**WU Chenxi**　Associate Professor of the Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is a member of the Youth Innovation Promotion Association of CAS and a member of the Hubei Oceanography & Limnology Society. His research focus is mainly on environmental behavior and ecological effects of emerging pollutants. He has been the PI and the key member of more than 10 projects, and published over 60 papers in well-known environmental journals including *Environmental Science & Technology*, *Water Research*, *Environmental Pollution*, and *Science of the Total Environment* with over 1000 citations. E-mail: chenxi.wu@ihb.ac.cn



■责任编辑：文彦杰